

MODELO DE DISEÑO DE UNA RED TRONCAL INALÁMBRICA BAJO EL
ESTÁNDAR IEEE 802.11

PRESENTADO POR:
JEHISON TUQUERRES CORREA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
PEREIRA NOVIEMBRE 15 DE 2019

MODELO DE DISEÑO DE UNA RED TRONCAL INALÁMBRICA BAJO EL
ESTÁNDAR IEEE 802.11

PRESENTADO POR:
JEHISON TUQUERRES CORREA

DIRECTORA:
MSC. JUAN DE JESÚS VELOZA MORA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN
PEREIRA NOVIEMBRE DE 15 2019

Contenido

Contenido.....	3
1. Dedicatoria	4
2. Introducción.....	6
3. Resumen.....	7
4. Abstract.....	8
5. Objetivos.....	9
5.1 Objetivo General	9
5.2 Objetivos Específicos.....	9
6. Marco de Referencia.....	10
6.1 Marco Teórico	10
Comunicación por Cobre	10
Comunicación por Fibra	11
Espectro Electromagnético y Radioeléctrico	14
Comunicación inalámbrica	17
Aspectos a Considerar en una conexión inalámbrica.....	30
Surgimiento de los proveedores de conexión a red	34
6.2 Marco Legal	36
7. Definición del Problema	37
7.1 Antecedente del Problema.....	37
7.2 Enunciado del Problema.....	38
8. Justificación.....	39
9. Estado del Arte.....	40
10. Hipótesis.....	42
11. Diseño Metodológico	42
11.1 Definición del conjunto de métricas necesarias para la validación de la calidad de un enlace de radio.....	42
11.2 Definición de los parámetros de comparación y simulación de enlace	42
Enlace Cerro el Nudo Pereira - Cerro Roble Quindío.....	45
Enlace Cerro el Nudo Pereira - Belalcazar	47
Enlace Cerro el Nudo Pereira - Belalcazar	49
12. Conclusiones.....	54
13. Glosario.....	55
14. Bibliografía	64

Lista de Tablas

Tabla 1 20

Tabla 2 22

Tabla 3 25

Tabla 4 30

Tabla 5 59

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 26

Ilustración 2 27

Ilustración 3 27

Ilustración 4 28

Ilustración 5 29

Ilustración 6 33

Ilustración 7 33

Ilustración 8 35

Ilustración 9 44

Ilustración 10 46

Ilustración 11 48

Ilustración 12 50

1. Dedicatoria

Este trabajo de Grado lo dedico a mis Padres María Nancy Correa Muñoz y Rolando Tuquerres Parra, así como a mis hermanos Jhony Alexander Tuquerres Correa y Harold Mauricio Tuquerres Correa, por su apoyo incondicional en mi formación como persona y profesional, gracias al modelo de ser humano que me inculcaron, aprendí el significado de responsabilidad y perseverancia.

A todas las personas (Compañeros, Profesores) que me proporcionaron su apoyo para alcanzar mi meta.

1. Introducción

El termino red inalámbrica (Wireless Network) se utiliza para designar la conexión de nodos por medio de ondas electromagnéticas sin necesidad de cable, su transmisión y recepción se realiza a través de dispositivos que utilizan dichas ondas. Para establecer una red de área local inalámbrica es necesario seguir el estándar IEEE 802.11, el cual establece el uso de los dos niveles inferiores del modelo OSI (capa física y capa de enlace de datos)¹

La finalidad de este trabajo aborda los parámetros que se deben de tener en cuenta al momento de realizar la construcción de un nodo de comunicación inalámbrica, que permita la interconexión de lugares distantes por medio de redes de área local, estableciendo el conjunto de parámetros necesarios para proveer una conexión óptima a los usuarios que otorgue comunicación entre dos o más puntos en zonas donde es muy complejo el acceso a los distintos medios de comunicación.

Para analizar este tema es necesario conocer las causas cuando no se realiza un estudio minucioso. Una de ellas es porcentaje bajo en la Calidad de Conexión del cliente, por sus siglas en ingles CCQ (Client Connection Quality). Se entiende por CCQ al promedio de los valores entre el tiempo que tardaría en transmitir la trama y el tiempo que en realidad se demora en transmitir dicha trama, este valor se representa en porcentaje, para así poder determinar la eficiencia del enlace.

¹ Bagby, D. (07 de 1992). An Introduction to IEEE 802.11 Concepts & Definition. IEEE, 16. Obtenido de

2. Resumen

Este trabajo de grado se aborda el estándar IEEE 802.11 el cual comprende las comunicaciones inalámbricas conocidas como WIFI en las frecuencias 2,4 GHz y 5 GHz, con sus diferentes modalidades, las cuales son seleccionadas de acuerdo a la velocidad y distancia que se desee Transmitir y Recibir.

Un factor muy importante son las antenas usadas para la realización de enlaces, debido a su forma y tamaño se establece el trayecto a cubrir, teniendo en cuenta el medio de propagación, puesto que la atmosfera es un factor de variación para la eficiencia de la conexión.

Se realizará una simulación de enlace donde se validará los posibles obstáculos que puedan existir entre dos nodos troncales inalámbricos, los cuales serán representados en una gráfica que incorpore la topografía de la zona, permitiendo hacer una valoración de eficiencia de enlace, lo que posibilita tener un concepto previo de los niveles de operación de una red bajo las características de propagación de ondas de radio.

Palabras claves: Antenas, Atmosfera, Enlace, Frecuencias, IEEE 802.11, Propagación, Recepción, Transmisión, WIFI.

3. Abstract

This grade work addresses the IEEE 802.11 standard which includes the wireless communications known as WIFI in the frequencies 2.4 GHz and 5 GHz, with their different modalities, which are selected according to the speed and distance you want to Transmit and receive.

A very important factor is the antennas used for the realization of links, due to its shape and size the path to be covered is established, taking into account the propagation medium, since the atmosphere is a variation factor for the connection efficiency.

A link simulation will be carried out where the possible obstacles that may exist between two wireless trunk nodes will be validated, which will be represented in a graph that incorporates the topography of the area, allowing a link efficiency assessment, which makes it possible to have a previous concept of the operating levels of a network under the characteristics of radio wave propagation.

Keywords: Antennas, Atmosphere, Link, Frequencies, IEEE 802.11, Propagation, Reception, Transmission, WIFI.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo de procesos de buenas prácticas para la implementación de una red troncal inalámbrica.

4.2 Objetivos Específicos

- Definir el conjunto de métricas necesarias para la validación de la calidad de un enlace de radio.
- Definir los parámetros de comparación y las métricas asociadas para la selección de la banda de frecuencia para el despliegue de un enlace troncal inalámbrico.
- Implementar una prueba piloto simulada de la etapa de diseño y despliegue de la solución para una zona rural en el eje cafetero.
- Proponer un modelo de proceso de buenas prácticas para el diseño y despliegue de un radio enlace troncal.

5. Marco de Referencia

5.1 Marco Teórico

Dado que este trabajo aborda el despliegue de un nodo troncal inalámbrico, cabe recalcar ciertos conceptos, así como los medios por los cuales se realiza un sistema de comunicación entre los cuales se tiene:

Comunicación por Cobre

El cobre es el elemento químico más usado en las telecomunicaciones debido a sus propiedades conductoras.

Durante los últimos 50 años ha tenido gran acogida, puesto que ha sido participe de la evolución tecnológica que ha sufrido las telecomunicaciones, en dichos avances se tiene nuevos procedimientos de transmisión de datos HDSL y ADSL, que pueden ampliar la capacidad de transmisión de los cables de cobre ya existentes, esa tecnología es conocida como xDSL. Gracias a la multiplexación, permiten que los cables de cobre transporten señales más amplias, facilitando así la transmisión de datos de alta velocidad, lo que ha facilitado el Proceso Digital de Señales que requiere un Hardware especial en ambos extremos de la red, permitiendo así transmisión de datos a altas velocidades por medio de cables de cobre, logrando transmitir voz y datos simultáneamente así mismo transmisión online de datos, vídeo conferencias, educación a distancia, etc².

² Instituto Europeo del Cobre, Telecomunicaciones, 2018, <https://copperalliance.es/cobre/aplicaciones/telecomunicaciones/>

Comunicación por Fibra

A comienzos de la década de 1840, El físico irlandés John Tyndall descubrió que la luz podía viajar dentro de un material (agua), al curvarse por reflexión interna. En 1880, Alexander Graham Bell fue el primero en utilizar la luz como medio de transmisión y encontró que en la atmosfera se atenuaban las señales debido a las partículas de aire y vapor de agua.

En 1951 se encontraron atenuaciones del haz de luz enviado a través de un hilo llamado fibra óptica en rangos que permitían una aceptable transmisión de información por este medio.

A finales de la década del 70's y principios de los 80's de ese siglo el avance en la fabricación de estos cables ópticos y el desarrollo de las tecnologías LED (Light Emmiting Diode) y LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) permitieron iniciar el desarrollo de sistemas de comunicación eficientes, confiables y de alta capacidad que utilizan la fibra como medio de transmisión, para dar inicio a una nueva era tecnológica en materia de soluciones para la transmisión de información de gran capacidad.

En su composición, la fibra óptica está constituida por un hilo flexible tan delgado como un cabello humano y normalmente está hecha de vidrio u otro material dieléctrico (que no conduce cargas eléctricas). Su índice de refracción es alto y es capaz de llevar la luz con bajas atenuaciones incluso cuando se curva el cable.

Está constituida por un núcleo y un revestimiento, ambos cilindros concéntricos y con diferente índice de refracción, siendo el del exterior inferior al del interior. Según el uso y las condiciones a las que será sometida, la fibra óptica además se cubre externamente con una capa llamada recubrimiento. Gracias a su composición, la fibra óptica permite adaptarse a diferentes tipos de condiciones geográficas, ya que el cable de fibra óptica es más liviano, lo cual permite una fácil instalación sobre redes de energía, viales y de gasoductos, entre otras, con importantes características técnicas para su funcionamiento, además, como es la inmunidad al ruido y a las interferencias electromagnéticas³.

³ Mintic, ABC de la Fibra Óptica, 2018, <https://www.mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-article-5342.html>

Existen diferentes tipos de cable de fibra óptica entre los cuales tenemos:

- **Cable Auto Soportado ADSS**

Es un cable diseñado para ser utilizado en estructuras aéreas, comúnmente redes eléctricas o de distribución energética (postes o torres), posee características técnicas que permiten soportar condiciones ambientales extremas y la forma de instalación es a través de soportes y abrazaderas especiales⁴.

- **Cable Submarino**

Es un cable diseñado para permanecer sumergido en el agua. Estos cables logran alcanzar grandes distancias, por lo que son muy utilizados para conectar continentes. Adentro, en su composición, disponen de cables de energía para alimentar los amplificadores ópticos que normalmente hacen parte de sistema de comunicaciones y, al encontrarse ubicados a grandes profundidades, se imposibilita su mantenimiento⁵.

- **Cable OPGW**

El cable OPGW (Optical Ground Wire) es un cable que tiene fibras ópticas insertadas dentro de un tubo, en el núcleo central del cable de tierra de los circuitos eléctricos. Sus fibras ópticas están completamente protegidas y rodeadas por pesados cables a tierra. Es utilizado por las compañías eléctricas para suministrar comunicaciones a lo largo de las rutas de las líneas de alta tensión y poseen gran disponibilidad en el servicio de transmisión de información⁶.

⁴, ⁵, ⁶ Mintic, ABC de la Fibra Óptica, 2018, <https://www.mintic.gov.co/porta/vivedigital/612/w3-article-5342.html>

De acuerdo con el tipo de aplicación que se requiera, la capacidad y distancia de información a transmitir, se puede clasificar la fibra óptica en Fibras ópticas multi-modo y Fibras ópticas mono-modo⁷.

Fibras ópticas multi-modo

Son aquellas fibras que pueden guiar y transmitir varios rayos de luz por el efecto de reflexión (varios modos de propagación), a través del núcleo de la fibra óptica. Estas fibras ópticas son fabricadas a base de vidrio y son utilizadas para aplicaciones de cortas distancias en soluciones donde no existen trayectos mayores de 2 kilómetros, y se adaptan muy bien a soluciones de tipo empresarial y campus universitarios, entre otras.

Fibras ópticas mono-modo

Son aquellas fibras ópticas que, por su diseño, pueden guiar y transmitir un solo rayo de luz a través del eje de la fibra óptica, siendo la longitud de onda del mismo tamaño del núcleo, por lo que se denomina 'mono-modo' (único modo de propagación). Esta fibra óptica permite lograr grandes distancias, para alcanzar un alto cubrimiento y una alta capacidad de transmisión de información.

⁷ Mintic, ABC de la Fibra Óptica, 2018, <https://www.mintic.gov.co/portal/vivedigital/612/w3-article-5342.html>

Espectro Electromagnético y Radioeléctrico

El espectro Electromagnético es la representación en conjunto de frecuencias generadas por el electromagnetismo⁸, por consiguiente, el espectro Radio Eléctrico según Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), es el grupo de frecuencias que permiten las telecomunicaciones, entre las cuales tenemos:

- Radio (Emisora)
- Televisión
- Internet
- Telefonía móvil

Dichas frecuencias son reguladas por el gobierno y/o ente encargado de cada país.

El grupo del espectro Radioeléctrico se encuentra fragmentado en bandas de frecuencias que, dependiendo de su valor, se determina qué tipo de servicio ofrecer, entre las más usadas están:

- Banda HF (High Frequency): comprende el rango de frecuencia entre 3 - 30 MHz con una longitud de onda entre 10 y 100 m, entre sus usos esta la comunión marítima traspolar, estándar GMDSS incluye radioteléfono de alta frecuencia, frecuencias reservadas a las fuerzas de seguridad y de defensa, frecuencias reservadas para los aviones de línea como frecuencias secundarias cuando atraviesan los océanos⁹.
- Banda VHF (Very High Frequency): comprende el rango de frecuencia entre 30 MHz a 300 MHz con una longitud de onda entre 1 y 10 m, entre sus usos esta la telefonía móvil, emisoras radiales, sistemas de radio de onda corta para los aficionados, esta banda es muy potente debido a que su alcance puede ser internacional¹⁰.

⁸ Fernando Alonso Roa Díaz, REGULACIÓN Y MANEJO DEL ESPACIO ELECTROMAGNÉTICO EN COLOMBIA, 2013, Tunja Colombia

⁹ Wikipedia, HF, 2019, <https://es.wikipedia.org/wiki/HF>

¹⁰ MinTic, Espectro Radio Electrico, 2014, <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sistemas-MINTIC/SGE-Sistema-de-Gestion-del-Espectro/Informacion-General/2350:Espectro-Radioelectrico>

Las bandas se asignan de acuerdo a su a su longitud¹¹:

- ❖ Entre los 88 y los 108 MHz están las frecuencias moduladas FM.
 - ❖ Entre los 108 y 136,975 MHz están las frecuencias usadas para la aviación.
 - ❖ Entre 108,7 MHz y 117,9 MHz están los radiofaros.
 - ❖ A partir de los 118 MHz están las comunicaciones por voz.
 - ❖ En los 137 MHz están las señales meteorológicas.
 - ❖ Entre 144 y 148 MHz se encuentran las frecuencias de los radioaficionados (radioteléfono).
 - ❖ Entre 156 y 162 MHz está el servicio radio-marítimo.
- Banda UHF (Ultra High Frequency): comprende el rango de frecuencia 300 MHz a 3 GHz con una longitud de onda entre 10 cm y 1 m, entre sus usos esta Televisión, la telefonía fija y telefonía móvil, rastreo satelital de automóviles y establecimientos, emisoras¹².
El uso de las frecuencias se divide de la siguiente forma¹³:

- ❖ El servicio más conocido y/o usado es la televisión la cual está entre los 470 y 790 MHz.
- ❖ Radio para uso no profesionales esta entre los 430 y 440 MHz.
- ❖ Telefonía en Colombia
 - 4G
La banda comprende la frecuencia entre 1700 hasta 2100 MHz, en dicha banda solo se asigna 90 MHz.

¹¹ Wikipedia, 2019, <https://es.wikipedia.org/wiki/VHF>

¹² MinTic, Espectro Radio Electrico, 2014, <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/Sistemas-MINTIC/SGE-Sistema-de-Gestion-del-Espectro/Informacion-General/2350:Espectro-Radioelectrico>

¹³ Wikipedia, UHF, 2019, <https://es.wikipedia.org/wiki/UHF>

Para la banda 2500 MHz se asigna hasta 130 MHz¹⁴.

➤ 5G

La banda comprende la frecuencia 700 MHz¹⁵.

¹⁴ Mintic, 2011, <https://www.mintic.gov.co/portal/inicio/1093:Ministerio-TIC-abrira-proceso-de-asignacion-de-espectro-para-servicios-de-4G-en-el-cuarto-trimestre-del-2011>

¹⁵ Mintic, Arranca la nueva carrera por el espectro en 700 MHz,
https://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-100229.html?_noredirect=1

Comunicación inalámbrica

En primera instancia el Electromagnetismo es un fenómeno físico que une la electricidad con el magnetismo, logrando representar con dicha unión los efectos que surgen entre la interacción de cargas eléctricas en reposo y en movimiento con campos eléctricos y magnéticos sobre la materia¹⁶.

El físico y químico Michael Faraday quien fue uno de los primeros aportantes en el enriquecimiento del conocimiento sobre el electromagnetismo, descubrió en 1831 el principio de la inducción electromagnética, que sirvió de base para la creación del dinamo eléctrico, el cual desencadenó a los generadores y motores eléctricos¹⁷.

Poco después el físico James Clerk Maxwell se apoyó sobre lo descubierto por Faraday, para realizar un modelo matemático el cual se resume en las cuatro ecuaciones de Maxwell que describen:

1. Relación entre el flujo de un campo eléctrico y una superficie cerrada, validando la cantidad de fluido eléctrico que logra atravesar dicha superficie. Mejor conocido como la Ley de Gauss para el campo eléctrico.

$$\oint_{\partial\tau} \mathbf{E} \cdot \mathbf{n} dS = \frac{Q_{\text{int}}}{\epsilon_0}$$

Donde

\oint = Integral sobre una superficie cerrada

$\partial\tau$ = Es la superficie anteriormente mencionada con frontera ∂ y volumen τ .

\mathbf{E} = Campo eléctrico en los puntos infinitos de la superficie

¹⁶ Phillips Feynman, Richard; Leighton, Robert Benjamin; Linzee Sands, Matthew, FEYNMAN LECTURES ON PHYSICS, 2008, Editorial Narosa publishing house

¹⁷ Institution of Engineering and Technology, Archives Biographies: Michael Faraday, 2019, https://www.theiet.org/publishing/library-archives/the-iet-archives/biographies/michael-faraday/?utm_source=redirect&utm_medium=legacyredirects&utm_campaign=2019relaunch

\mathbf{n} = Es el vector unitario a la superficie cerrada $\partial\tau$, además apunta hacia el exterior.

$d\mathbf{S}$ = Es el diferencial de área sobre $\partial\tau$

ϵ_0 = Es la constante permitividad en el vacío.

Q_{int} : Es la carga neta contenida dentro de la superficie $\partial\tau$.

2. Relación ente el flujo de un campo magnético y una superficie cerrada, validando que no entra ni sale fluido magnético, lo que significa que el campo magnético no sale de la superficie, es decir no hay **divergencia**. Mejor conocido como la Ley de Gauss para el campo magnético.

$$\oint_{\partial\tau} \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

Donde

\oint

= Integral sobre una superficie cerrada

\mathbf{B} = Campo magnético

$d\mathbf{A}$ = Es el diferencial de área sobre $\partial\tau$

3. Describe el resultado de una fuerza electromotriz en un campo magnético, el cual es la inducción electromagnética. Esta descripción es conocida como Ley de Faraday-Lenz.

$$\oint_{\partial\tau} \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

\oint

= Integral sobre una superficie cerrada

$\partial\tau$ = Es la superficie anteriormente mencionada con frontera ∂ y volumen τ .

\mathbf{E} = Campo eléctrico en los puntos infinitos de la superficie

$d\mathbf{S}$ = Es el diferencial de área sobre $\partial\tau$

$d\Phi_B$ = Diferencial del Flujo magnético

4. Relaciona un campo magnético inmóvil y una corriente eléctrica que no varía en relación al tiempo. Esta relación es mejor conocida como Ley de ampere Generalizada

$$\oint_{\partial\tau} \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 i + \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} \int \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

\oint = Integral sobre una superficie cerrada

$\partial\tau$ = Es la superficie anteriormente mencionada con frontera ∂ y volumen τ .

\vec{E} = Campo eléctrico en los puntos infinitos de la superficie

$d\vec{s}$ = Es el diferencial de área sobre $\partial\tau$

μ_0 = Es la permeabilidad

i = Corriente eléctrica

c^2 = Es la velocidad de luz al cuadrado

Gracias a este descubrimiento y a los avances tecnológicos y matemáticos, hoy conocemos la comunicación inalámbrica, la cual es la interacción entre dos o más entes, emisor y receptor sin ningún tipo de unión física, es decir el medio por el cual tiene contacto es el espacio gracias a las ondas electromagnéticas¹⁸.

Como emisor y receptor existen diferentes dispositivos entre los cuales tenemos celulares inteligentes, computador portátil, antenas, satélites, entre otros; como requisito es que posean el mismo protocolo de comunicación para que de esta manera no exista ningún tipo de problema a la hora de establecer algún tipo de interacción.

¹⁸ Preston Gralla, Libro CÓMO FUNCIONAN LAS REDES INALÁMBRICAS, 2007, Editorial Anaya Multimedia

Actualmente encontramos distintas tecnologías inalámbricas las cuales son usadas de acuerdo al contexto y campo de aplicación, ellas son:

Bluetooth (IEEE 802.15)

Red de Área personal inalámbrica “Bluetooth”, enfocada en el tratamiento de redes tipo WPAN o redes inalámbricas de corta distancia, usa la banda 2,4 GHz para la transmisión de contenido a una máxima distancia de 10 mts.

Al ser de corto alcance Bluetooth fue diseñado para equipos de bajo consumo a un precio económico.

En el transcurso de su evolución se ha ido mejorando el ancho de banda posible¹⁹.

Versión	Ancho de banda (BW)	Fecha
Versión 1.2	1 Mbit/s	2003
Versión 2.0 + EDR	3 Mbit/s	2004
Versión 3.0 + HS	24 Mbit/s	2009
Versión 4.0	32 Mbit/s	2010
Versión 5	50 Mbit/s ³	2017

Tabla 1

¹⁹ John D'Ambrosia, IEEE 802, 2019 <http://www.ieee802.org/>

Redes de área metropolitana inalámbricas (WMAN) Wimax (IEEE 802.16)

Proporciona conectividad en áreas metropolitanas a gran velocidad y larga distancia, se encuentra en las bandas 2,5 y 5,8 GHz muy similar a 802.11.

La versión 2 está más orientada a la conexión de telefonía móvil, debido a la gran expansión que está teniendo, tanto en las empresas como en ámbitos domésticos, para dar servicio de Internet mediante subcontratas promovidas por ayuntamientos o compañías operadoras de telecomunicaciones.

Frecuentemente es usada para solucionar la entrega de última milla.

Wimax ha sufrido distintos cambios los cuales se han registrado en versión a miento, con el ánimo de realizar mejoras al protocolo²⁰.

Estándar	Descripción
802.16	Utiliza espectro licenciado en el rango de 10 a 66 GHz, necesita línea de visión directa, con una capacidad de hasta 134 Mbit/s en celdas de 3 a 7,5 km (2 a 5 millas). Soporta calidad de servicio. Publicado en 2002.
802.16a	Ampliación del estándar 802.16 hacia bandas de 2 a 11 GHz, con sistemas NLOS y LOS, y protocolo PTP y PTMP . Publicado en abril de 2003.
802.16c	Ampliación del estándar 802.16 para definir las características y especificaciones en la banda de 10-66 GHz. Publicado en enero de 2003.
802.16d	Revisión del 802.16 y 802.16a para añadir los perfiles aprobados por el WiMAX Forum. Aprobado como 802.16-2004 en junio de 2004 (la última versión del estándar).

²⁰ John D'Ambrosia, IEEE 802, 2019 <http://www.ieee802.org/>

802.16e	Extensión del 802.16 que incluye la conexión de banda ancha nómada para elementos portátiles del estilo de los notebooks. Publicado en diciembre de 2005.
802.16m	Extensión del 802.16 que entrega datos a velocidad de 1 Gbit/s en reposo y 100 Mbit/s en movimiento.
802.16m-2011	Conocido como Mobile WiMAX Release 2, interfaz de aire avanzada, con tasas de 100 Mbit/s móvil y 1 Gbit/s de datos fija, con OFDMA

Tabla 2

Mobile Broadband Wireless Access MBWA (IEEE 802.22)

Diseñado para Wireless Regional Area Network (WRAN) utiliza la radio cognitiva para hacer un uso óptimo del espectro, aprovechando los espacios en blanco y así permitir banda ancha en zonas geográficamente complejas o exista poca población.

La utilización de los espacios en blanco se da en aquellos sectores del espectro que fueron asignados a servicio de TV pero que actualmente no se está usando²¹.

Redes de área ancha inalámbricas (WWAN)

La WAN inalámbrica (WWAN) constituyen otra opción a la hora de realizar un despliegue de redes inalámbricas entre dos puntos muy apartados que excedan el alcance de cobertura de los anteriormente mencionados, la implementación de la tecnología WPAN, WLAN o WMAN. es más económicas que WWAN, puesto que emplean bandas de frecuencias libres sin costo alguno para su utilización en cualquier escenario.

²¹ John D'Ambrosia, IEEE 802, 2019 <http://www.ieee802.org/>

Las licencias para telefonía móvil son limitadas, y el gobierno de cada país las cede a través de concesiones a operadores de telecomunicaciones para que realicen una explotación comercial de las mismas²².

Las tecnologías en que se ha desarrollado WWAN son:

- ❖ GSM/EGPRS
- ❖ UMTS
- ❖ HSPA+
- ❖ LTE/SAE

²² Jesucristo Garcia, Despliegue de redes inalámbricas, Academia, Recuperado de https://www.academia.edu/9410313/WMAN_Wireless_Metropolitan_Area_Network_WLAN_Wireless_Local_Area_Network_Actividades_WPAN_Wireless_Personal_Area_Network_WPAN_WLAN_WMAN_WWAN_Est%C3%A1ndares

Wifi (IEEE 802.11) WLAN

El estándar 802 es una familia de tecnologías para redes de área local, que abordan la capa 1 “Capa física” y 2 “Capa Enlace de datos” del modelo OSI, que va desde 802.1 hasta 802.22; 802.11 pertenece esta familia, especifica la red de área local inalámbrica (Wireless Local Área Network WLAN) usa técnicas de modulación semiduplex para poder establecer el envío y recepción de paquetes no guiados basados en la transmisión de la señal por ondas electromagnéticas de radio en torno a las bandas 2,4 GHz o los 5 GHz.

Desde 1997 hasta hoy día han surgido diferentes versiones del protocolo con el fin de mejorar la velocidad y estabilidad del servicio, así mismo, incursión de las bandas en las que actualmente opera²³.

Estándar 802.11			
Versión del Estándar	Fecha de lanzamiento	(GHz)	Valor teórico (Mbit/s)
802.11	jun-97	2.4	1, 2
802.11b	sep-99	2.4	1, 2, 5.5, 11
802.11a	sep-99	5	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
802.11g	jun-03	2.4	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
802.11j	nov-04	4.9-5.0	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
802.11y	nov-08	3.7	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
802.11n	oct-09	2.4-5	288-600
802.11p	jul-10	5.9	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54
802.11ad	dic-12	60	6,757
802.11ac	dic-13	5	3466.8
802.11af	feb-14	0.054–0.79	568.9
802.11aj	abr-18	45	15000

²³ John D'Ambrosia, IEEE 802, 2019 <http://www.ieee802.org/>

802.11ax	dic-19	2.4-5-6	10530
802.11ay	may-20	60	20000

Tabla 3

Como se mencionó anteriormente 802.11 se encuentra presente en las capas inferiores del modelo OSI las cuales son:

1. Capa Física

Esta capa se ocupa la topología de la red, haciendo referencia al medio físico de transmisión de la información²⁴.

2. Capa de Enlace de Datos

Esta capa cumple una funcionalidad muy importante puesto que se encarga del direccionamiento físico con la MAC, así mismo permite el acceso al medio de propagación y la detección de errores como colisión de tramas puesto que las distribuye ordenadamente logrando un control de flujo (Zimmermann, OSI Reference Model - The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection, 1980)²⁵.

²⁴, ²⁵ H. Zimmermann, OSI Reference Model - The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection, IEEE XPLORE, 1980, <https://ieeexplore.ieee.org/document/1094702>

Wifi 6 (802.11 ax)

Es el estándar 802.11 ax apoyado en la banda 2,4 y 5 GHz, el cual proporciona capacidad, rendimiento, eficiencia y cobertura para responder a las exigencias inalámbricas de hoy día.

Permite la conexión de múltiples dispositivos sin presentar inconveniente en la estabilidad y transferencia de datos, lo cual permite un gran avance para el Internet de las cosas (IOT). Entre los beneficios más destacados están²⁶:

- ❖ Mayor transferencia de datos
- ❖ Mejor rendimiento (Performance)
- ❖ Capacidad de conexión de múltiples dispositivos
- ❖ Seguridad

Otros beneficios complementarios:

- ❖ **Coloración BSS**

Este beneficio permite reducir la interferencia entre entornos donde el volumen de dispositivos es alto, a través de la reutilización espacial que proporciona colores a la red para la fácil identificación, por consiguiente, cuando el dispositivo se desee conectar a la red, tendrá en cuenta el bit de color BSS para así tomar una decisión que impida algún tipo de interferencia²⁷.

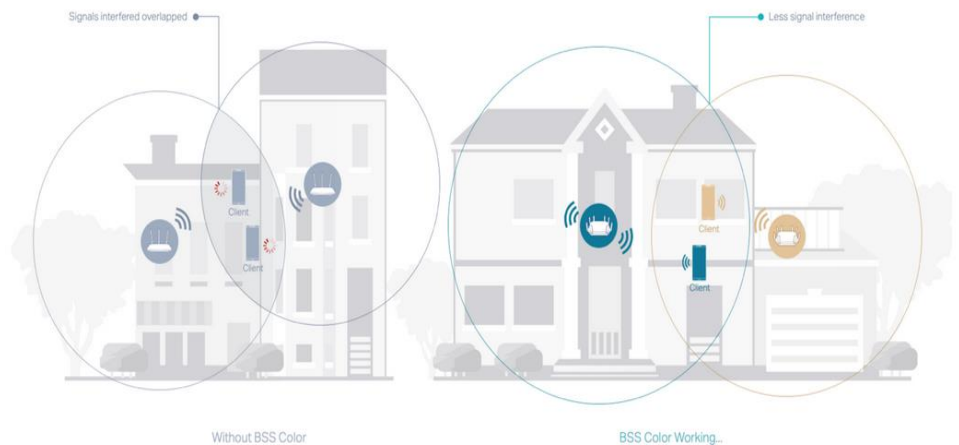


Imagen tomada de <https://www.xataka.com/especiales/que-wifi-6-que-va-a-mejorar-tu-red-wifi-casa-cuando-te-conectes-a-publica>

Ilustración 1

²⁶ Wifi Alliance, Wifi certified 6, 2019, <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-6>

²⁷ JAVIER PENALVA, xataka, 2019, Recuperado de <https://www.xataka.com/especiales/que-wifi-6-que-va-a-mejorar-tu-red-wifi-casa-cuando-te-conectes-a-publica>

Todos estos beneficios permiten tener un mejor tiempo de respuesta o latencia baja, en situaciones donde exijan conectividad masiva inalámbrica, como aplicaciones comerciales o lugares de gran concentración como estación de bus y/o Aeropuertos; así mismo el acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal “Orthogonal frequency division multiple access”(OFDMA), permite compartir de manera eficiente los canales por medio de la división de frecuencias, logrando separar el tráfico que es enviado sin necesidad de usar todo el ancho de banda para ello.

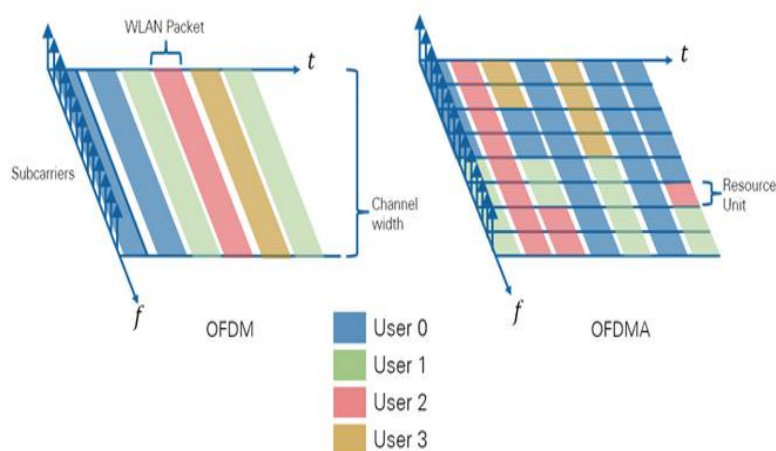


Imagen tomada de <https://www.xataka.com/especiales/que-wifi-6-que-va-a-mejorar-tu-red-wifi-casa-cuando-te-conectes-a-publica>

Ilustración 2

Además de que funcionan con tecnología MIMO (Multi user multiple input-output) lo cual posibilita al Punto de Acceso (AP) la administración de múltiples dispositivos.

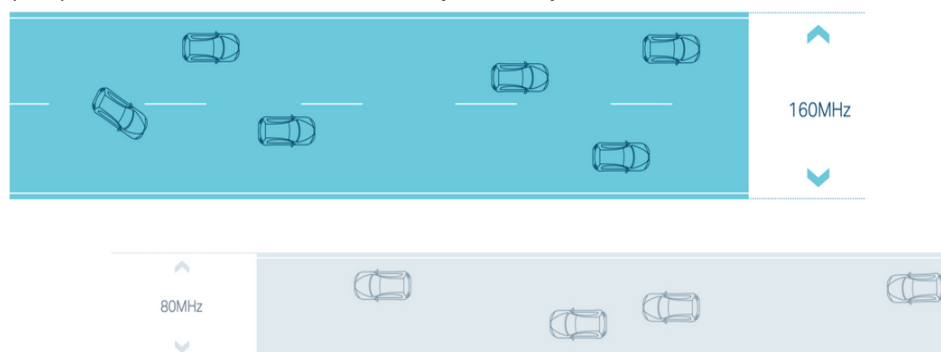


Imagen tomada de <https://www.xataka.com/especiales/que-wifi-6-que-va-a-mejorar-tu-red-wifi-casa-cuando-te-conectes-a-publica>

Ilustración 3

El aprovechamiento del canal 169 MHz aumenta el ancho de banda lo cual significa mayor tráfico de datos y la reducción de latencia²⁸.

Menos Consumo de Energía

Este ahorro de consumo se encarga la tecnología Target Wake Time (TWT), es decir, los dispositivos ya no se apagan o conectan cada intervalo de tiempo, en busca de transmisión desde el Punto de Acceso (AP), sino que hay un convenio donde se plantea con anterioridad el acceso al canal de comunicación, por consiguiente, se conoce la duración del tiempo de espera de la red, permitiendo mantener los dispositivos en reposo hasta el momento de la conexión según lo convenido²⁹.

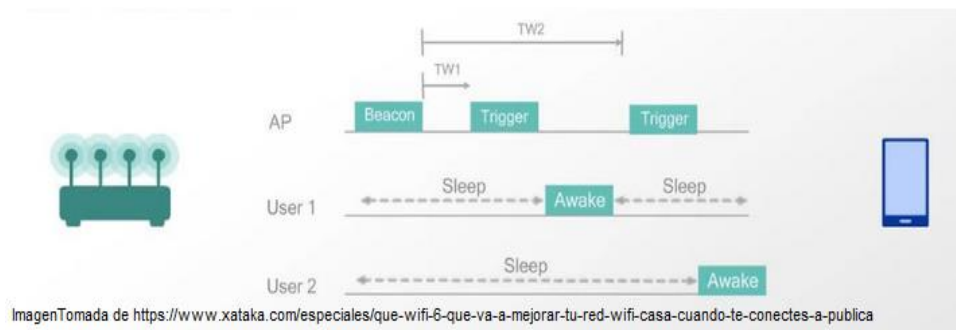


Ilustración 4

²⁸ Wifi Alliance, Wifi certified 6, 2019, <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-6>

²⁹ JAVIER PENALVA, xataka, 2019, Recuperado de <https://www.xataka.com/especiales/que-wifi-6-que-va-a-mejorar-tu-red-wifi-casa-cuando-te-conectes-a-publica>

Wifi 6 (802.11 ax) vs wifi 5 (802.11 ac)

Una de las principales diferencias es la operación en las bandas 2,4 y 5 GHz, lo cual proporciona una mejor redistribución de acuerdo a nuestro entorno, además de ellos se presentan otras diferencias como³⁰:

➤ Velocidad

En valor teórico 802.11 AX ofrece 3 Gbps más que 802.11 AC, respecto a Stream paso de 433 Mbps con wifi 5 a 600 Mbps con wifi 6, este avance se debe en parte a la modulación de amplitud en cuadratura o QAM (Quadrature Amplitude Modulation) (Penalva, 2019)

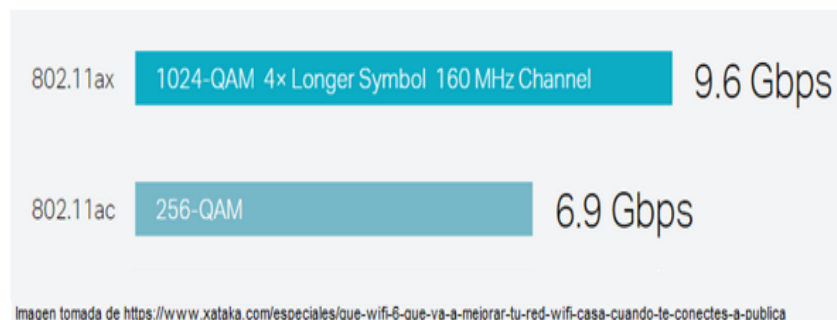


Ilustración 5

➤ Seguridad

Wifi 6 (802.11 ax) integra el nuevo protocolo de seguridad WPA3 (Penalva, 2019).

➤ Diferencias Varias

En la siguiente tabla se relacionan las diferencias más significativas (Penalva, 2019).

	WiFi 5 (802.11ac)	WiFi 6 (802.11ax)
Bandas	5 GHz	2.4 y 5 GHz
Ancho de banda del canal	20, 40, 80, 80+80 y 160 MHz	20, 40, 80, 80+80 y 160 MHz
Tamaños de FFT	64, 126, 256, 512	256, 512, 1024, 2048
Modulación más alta	256-QAM	1024-QAM

³⁰ JAVIER PENALVA, xataka, 2019, Recuperado de <https://www.xataka.com/especiales/que-wifi-6-que-va-a-mejorar-tu-red-wifi-casa-cuando-te-conectes-a-publica>

Velocidad de datos	433 Mbps por stream (80 MHz) Máx. 7000 Mbps	600 Mbps por stream (80 MHz) Máx. 10000 Mbps
---------------------------	------------------------------------------------	-------------------------------------------------

Tabla 4

Aspectos a Considerar en una conexión inalámbrica

En la realización de una conexión inalámbrica o punto de acceso a la red es necesario tener en cuenta tres aspectos importantes e infaltables a considerar los cuales ayudaran adquirir la orientación y correcta altura del nodo troncal para así lograr un enlace de comunicación, garantizando la calidad de la señal que llega al receptor, estos son:

- Alcance
- Línea de vista
- Zona de Fresnel.

El primero de ellos alcance, se refiere puntualmente a la máxima distancia a la que pueden estar alejados dos puntos antes de ser obstruidos por la cobertura terrestre este valor se calcula sumando el radio horizonte de cada punto según la altura de la antena En la realización de una conexión inalámbrica o punto de acceso a la red es necesario tener en cuenta tres aspectos importantes e infaltables a considerar los cuales ayudaran adquirir la orientación y correcta altura del nodo troncal para así lograr un enlace de comunicación, garantizando la calidad de la señal que llega al receptor, estos son:

- Alcance
- Línea de vista
- Zona de Fresnel.
- Margen de Desvanecimiento

El primero de ellos **alcance**, se refiere puntualmente a la máxima distancia a la que pueden estar alejados dos puntos antes de ser obstruidos por la cobertura terrestre este valor

se calcula sumando el radio horizonte de cada punto según la altura de la antena³¹.

La **línea de vista** alude al camino libre sin obstrucciones de ningún tipo ya sean edificaciones, árboles u otros elementos que interfieran entre las antenas receptora y emisora desde el cual literalmente se puede observar una a la otra³².

Margen de desvanecimiento es otro aspecto es la potencia adicional que debe tener el enlace para que su funcionamiento sea el ideal así se presente situaciones que afecten el rendimiento como condiciones atmosféricas desfavorables, desvanecimiento multirayectoria, entre otros. Por lo tanto, la suma de la energía efectiva, más la pérdida de propagación más la sensibilidad del receptor debe de ser mayor a cero (0)³³, la ecuación que describe la Marge de desvanecimiento es:

$$M_d = P_{tx} - P_{ctx} + G_{tx} - P_{sfl} + G_{rx} + P_{rx} - S_{rx}$$

Donde:

PTX = Potencia del transmisor [dBm].

Pctx = Pérdida en el cable de TX [dB].

GTX = Ganancia de antena de TX [dBi].

PFSL = Pérdidas en la propagación en espacio libre [dB].

GRX = Ganancia de antena de RX [dBi].

Pcrx = Pérdidas en el cable de RX [dB].

SRX = Sensibilidad del RX [dBm].

Md = Margen de desvanecimiento [dBm].

³¹ Roger Freema, Libro Radio System Design for Telecommunications, 2006, Scottsdale arizona, Wiley

^{32 33 35} Roger Freema, Libro Radio System Design for Telecommunications, 2006, Scottsdale arizona, Wiley

³³ . Estudio de viabilidad de un enlace WiFi, Emilio Monachesi, Francisco A. Gómez López, Agustín Carrasco, Ana María Frenzel, Guillermo Chaile, Efecto de la Foresta en las Transmisiones Electromagnéticas dentro de una WLAN Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Tucumán

El último aspecto y más importante de ellos la **zona de Fresnel** se refiere al radio que se debe dejar despejado alrededor de la línea de vista de un enlace inalámbrico para reducir la interferencia causada por la reflexión de la onda en objetos cercanos, fue definido por el físico francés Augustin-Jean Fresnel, donde determino tres zonas en la que la señal se puede ver afectada por la reflexión e interferencia de obstáculos pero para efectos prácticos es suficiente la primer zona³⁴. Para determinar el volumen de espacio entre el emisor de una onda electromagnética y el receptor aplicamos la siguiente ecuación $r = 17.32 * \sqrt{d/4f}$ donde r es el radio por determinar, d corresponde a la distancia entre las antenas en Km y f es la frecuencia de la señal en GHz, tener en cuenta del resultado obtenido que la obstrucción máxima permisible para considerar que no hay obstrucción es el 40% de la primera zona de Fresnel. La obstrucción máxima recomendada es el 20%³⁵.

La línea de vista alude al camino libre sin obstrucciones de ningún tipo ya sean edificaciones, arboles u otros elementos que interfieran entre las antenas receptora y emisora desde el cual literalmente se puede observar una a la otra³⁶.

La zona de fresnel se divide en tres regiones

1. La primera región es el espacio elipsoidal a través del cual pasa la señal de línea de vista directa.
2. La segunda región rodea la primera región, pero excluye la primera. En esta, la onda capturada por el receptor estará desfasada más de 90°, pero menos de 270°.
3. La tercera región rodea la segunda y las ondas desviadas capturadas por el receptor tendrán el mismo efecto que una onda en la primera región. La onda sinusoidal tendrá

³⁵ Jaime Gustavo Huilca, Informe Propagacion en el espacio libre, 2016, Universidad Politecnica Salesiana, Cuenca Ecuador

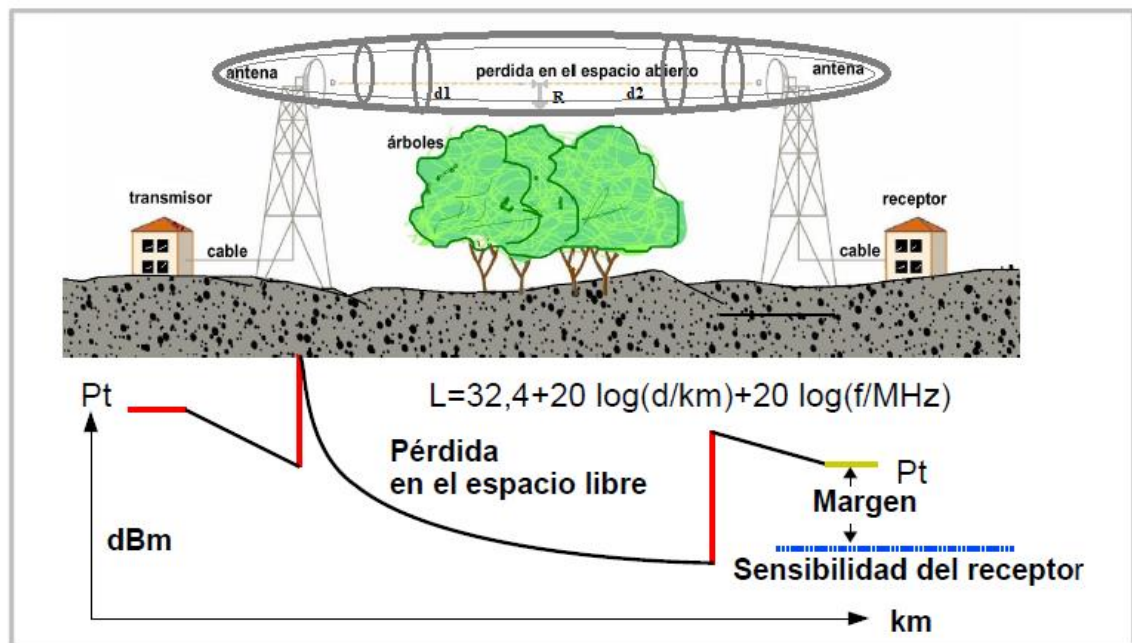
un desfase mayor a 270°, pero menor a 450° (idealmente sería un desfase de 360°)



Imagen tomada de <https://soporte.syscom.mx/es/articulos/1455193-que-es-la-zona-de-fresnel>

Ilustración 6

Un entorno real es



TRICALCAR | www.wilac.net/tricalcar - Versión final.

Ilustración 7

Surgimiento de los proveedores de conexión a red

La primera red que conectó varios equipos de cómputo fue ARPANET para el año 1969, posteriormente, en 1975 surgió la primera red de conmutación de paquetes, propuesta por BBN Technologies llamada Telenet, al poder realizar la conmutación pudo ofrecer distintos servicios como:

- a) Chat
- b) Compartir archivos
- c) Correo electrónico

Para la época solo podían acceder al servicio entidades gubernamentales y empresas del sector privado, debido a que se debía cancelar un valor mensual alto para pertenecer a la red, deferente de hoy día.

El Servicio fue tan acogido que se expandió al mercado en general, por consiguiente, empezaron a resultar nuevas empresas que ofrecían el mismo servicio como CompuServe y Q-Link, así sucesivamente empezaron a surgir las empresas que proporcionan el mismo servicio, mejorando la calidad para mayor acogida de clientes.

Cada una de esas empresas instalan nodos para distribución de la red, estos puntos son los denominados nodos troncales, con ellos buscan tener la mayor cobertura posible instalándolos en los puntos estratégicos para así tener el alcance ideal y poder proporcionar un buen servicio.

Para poder dar servicio a un territorio determinado sin que haya zonas fuera de cobertura, las redes inalámbricas operan dividiendo el terreno en cuadrículas llamadas celdas o células, en cada una de las que se instalan una o más antenas repetidoras. Cada celda puede cubrir desde unas pocas manzanas de una ciudad densamente poblada hasta extensiones de 200 km²; generalmente son de forma hexagonal, ya que esa figura geométrica permite cubrir una región geográfica con el menor número de celdas posible sin dejar áreas sin cobertura, permitiendo además que la distancia entre las antenas de las celdas sea la

misma en todo el territorio, evitando problemas de mala recepción de la señal³⁷.

❖ División de un territorio en celdas

La celda central opera a una frecuencia y cada una de las celdas contiguas trabaja a frecuencias cercanas, pero diferentes. En la esquina superior hay una celda que vuelve a usar la misma frecuencia que la central.

❖ Área Rural

Las antenas son omnidireccionales y se sitúan en el centro de cada celda.

❖ Área Urbana

con gran cantidad de usuarios potenciales, las antenas se suelen colocar en tres vértices no consecutivos de cada hexágono.

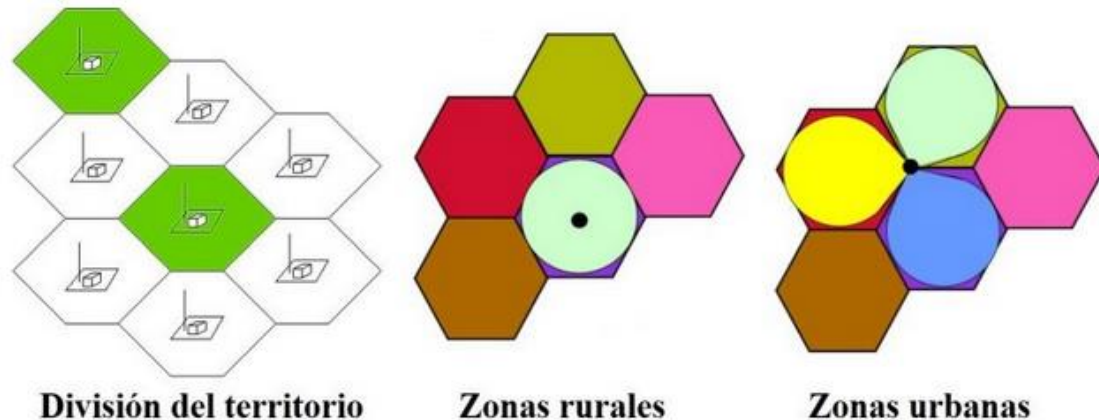


Imagen tomada de <https://blogs.publico.es/ignacio-martil/2017/02/24/como-funcionan-las-redes-inalambricas-de-telefonía-móvil/>

Ilustración 8

³⁷ Ignacio Mártel, ¿Cómo funcionan las redes inalámbricas de telefonía móvil?, 2017, recuperado de <https://blogs.publico.es/ignacio-martil/2017/02/24/como-funcionan-las-redes-inalambricas-de-telefonía-móvil/>

5.2 Marco Legal

El espectro radioeléctrico es el medio por el cual se transmiten las frecuencias de ondas de radio electromagnéticas que permiten las telecomunicaciones (radio, televisión, Internet, telefonía móvil, televisión digital terrestre, etc.), por ello son administradas y reguladas por los gobiernos de cada país³⁸, para el caso de Colombia la ANE(Agencia Nacional del Espectro) es la encargada de encarga de planear estratégicamente el uso del espectro radioeléctrico, así como su vigilancia y control en todo el territorio nacional colombiano³⁹..

La ley 1341 de 2009 definen Principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones -TIC-, crea la Agencia Nacional del Espectro⁴⁰.

Así mismo reglamenta el aprovechamiento racional, eficaz y económico del espectro, generando igualdad de oportunidades para aquellos solicitantes del uso del espectro.

³⁸ Mintic, Sistema de Gestion del Espectro, 2019, <https://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-2350.html>

³⁹ Mintic, Agencia Nacional del Espectro(ANE), 2019, <https://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-propertyvalue-6179.html>

⁴⁰ Mintic, Ley 1431 de 2009, 2018, Recuperado de <https://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-3707.html>

6. Definición del Problema

6.1 Antecedente del Problema

Las interconexiones en zonas geográficas de contextura montañosa son complejas, debido al terreno, no es factible realizar tendido de cualquier tipo de cable que permita una transmisión de datos más efectiva, por consiguiente, se opta por usar radio propagación, la cual se lleva a cabo por medio de nodos troncales que se comunican de forma inalámbrica. Los nodos troncales requieren un diseño previo que garantice los parámetros de calidad de operación, teniendo en cuenta factores que presentan atenuación como la pérdida de propagación entre otros.

De acuerdo a una encuesta realizada para el municipio de Marsella ubicado en de la cordillera central, los usuarios de la red perciben falencias que entre las más comunes tenemos:

- a) Reportes de fallas
 - Lentitud (General – Momentos del día de alto tráfico “Horas Pico”).
 - Latencias altas
 - Caída total del servicio

Estas dificultades generan un impacto negativo de los usuarios hacia las empresas proveedoras del servicio, lo cual produce:

- b) Terminación de contrato
- c) Mala percepción de la empresa en el mercado
- d) Sanciones

6.2 Enunciado del Problema

Estamos en la época de la globalización en la que los cambios surgen de manera rápida, donde la industria tecnológica plantea situaciones más complejas a desarrollar, puesto que dichos cambios generan gran impacto en la sociedad, que la transforma en una sociedad consumidora de productos y en especial de servicios.

Sin embargo, hoy día se ha detectado una serie de falencias que son comunes al momento de realizar una distribución de red por medio de nodos troncales inalámbricos, lo cual genera una indagación sobre como es el proceso y, por consiguiente, surge la siguiente pregunta:

¿Un diseño de red troncal que considere las características de propagación de las señales inalámbricas previo al despliegue de la red, puede mejorar los niveles de operación de la red?

Por ello en el desarrollo de este trabajo abordare la pregunta de tal manera que se pueda profundizar de forma teórica, presentando posibles opciones de solución.

7. Justificación

El presente trabajo de grado pretende proponer un modelo que incluye procedimientos adecuados al momento de realizar un despliegue de nodos troncales por medio de radio enlace de acuerdo a la zona geográfica que se desea interconectar. Generando un aporte a la academia mediante la definición formal de procedimientos estandarizados, los cuales servirá de apoyo para aquellos estudiantes que no han tenido o poseen poca experiencia con las conexiones inalámbricas.

Así mismo servirá como aporte para la reducción de la brecha digital, puesto que las zonas rurales son las más beneficiadas con las conexiones inalámbricas, debido a que permite tener acceso a la información sin la necesidad de desplazarse a otros sitios.

Igualmente proporciona una reducción de gastos operativos para aquellos entes que tengan como actividad económica ofrecer servicios inalámbricos, puesto que, con un buen planteamiento, los gastos de mantenimiento serán menores, lo que representa mayor beneficio económico.

Por consiguiente, se realizará una prueba simulada que abarcará una parte del eje cafetero, debido a que la zona geográfica proporciona características varias, las cuales permitirán ver de una forma más practica la temática de este trabajo.

8. Estado del Arte

Las primeras ondas electromagnéticas generadas por el hombre surgieron en el año 1887 gracias al experimento de Heinrich Hertz donde uso un circuito eléctrico que desarrollaba una carga en una de dos circunferencias de metal y después en la otra, la carga saltaba la brecha entre ambas circunferencias cada vez que se intensificaba lo suficiente, las chispas en la primera sección de instrumento correspondían en la segunda sección y las ondas puestas en marcha por el aparato oscilante creaba una corriente complementaria, aunque más pequeña al receptor. Desde ese entonces se inicia la investigación sobre mejoras para la transmisión y recepción de las ondas electromagnéticas⁴¹.

La mejora de las comunicaciones en el último cuarto de siglo, ha incentivado a diferentes empresas a llevar diversos servicios de comunicación a lugares remotos donde anteriormente no era posible. En este sentido los fabricantes de equipos inalámbricos como Mikrotik⁴², Ubiquiti⁴³, entre otros, se han propuestos a desarrollar dispositivos que brinden una solución por medio del espectro electromagnético y así tener la mayor cobertura posible, aunque la topografía de la zona no sea la más adecuada para ello. Los estudiantes Gabriela Leija Hernández, José Luis López Bonilla y Luis Alejandro Iturri Hinojosa, del Instituto Politécnico Nacional, ESIME Zacatenco, México D.F., realizaron una metodología para la instalación de antenas radio enlace donde se evaluó como factor clave la atmósfera.

Para la realización de un enlace inalámbrico se debe tener en cuenta la dispersión de la señal que se puede presentar por obstáculos, por ejemplo, otra onda electromagnética o un objeto, dicha dispersión genera elipsoides o comúnmente llamados zona de fresnel⁴⁴.

La zona de fresnel es un conjunto de elipsoides que rodean directamente a la señal electromagnética cuando hay obstrucción del radio enlace que viaja desde el emisor al receptor⁴⁵. La forma en que viaja la onda se asemeja a un balón de futbol norte americano, donde la parte cóncava

⁴¹ Ángel González Ureña, 2009, Revista SCILOGS Descubrimiento de las ondas de Radio: la confirmación de la Teoría Electromagnética

⁴² Mikrotik, Mikrotik OS, 2019, <https://mikrotik.com/products/group/wireless-systems>

⁴³ Ubiquiti, UBNT, 2019, <https://store.ubnt.com/collections/wireless>

⁴⁴ Roger Freema, Libro Radio System Design for Telecommunications, 2006, Scottsdale Arizona, Wiley

⁴⁵ Francisco Ramos, Radio enlaces, 2011, Recuperado de <http://www.radioenlaces.es/articulos/perdidas-en-obstaculos/>

superior se denomina primera zona de fresnel y es la que se debe garantizar que no tenga obstrucción alguna. El grupo de ondas pertenecientes al enlace, no se ven afectados solo por obstáculos, también por el medio en que se propaga, generando fenómenos como absorción, reflexión, dispersión y difracción, por último, aparece la curvatura inferior la cual es más tolerable a la no línea de vista y a los fenómenos anteriormente mencionados⁴⁶.

La calidad de conexión (ccq) tiene un papel fundamental para la transmisión de datos en una red y esta se puede ver afectada según la distancia al enlace de nodo de comunicación proveedor de red.

En la actualidad existen compañías a la vanguardia de mejoramiento de la calidad de conexión, de acuerdo con una investigación de medición y análisis de la red Wi-Fi de larga distancia (LR Wi-Fi) para comunicaciones sobre el mar, establece la importancia de utilización del protocolo TDMA que ofrece velocidad y escalabilidad de red sobre distancias de enlaces de varios kilómetros y la manera en que es afectada la calidad del enlace inalámbrico con largos trayectos donde esta es mejorada con la utilización de tecnología AirMAx propuesta por la empresa Ubiquiti Networks proveedor de productos inalámbricos y dando solución a la problemática mostrada, proporcionando a los pescadores de la India que se encuentren en el mar acceso a la red mediante sus dispositivos electrónicos⁴⁷.

⁴⁶ Hernánde, Gabriela Leija; López Bonilla, José Luis; Iturri Hinojosa, Alejandro, Artículo Metodología para el cálculo adecuado de las alturas de antenas en un radioenlace de microondas en Línea de Vista, 2013, Revista Electrónica Nova Scientia

⁴⁷ International Workshop on Wireless Network, Performance Measurement and Analysis of Long, 2015, Recuperado de <https://itra.medialabasia.in/data/Documents/MicroNet/publications/Performance%20Measurement%20and%20Analysis%20of%20Long%20Range%20Wi-Fi%20Network%20for%20Over-the-Sea%20Communication.pdf>

9. Hipótesis

Debido a que la conexión inalámbrica de nodos troncales se debe de realizar entre dos o más de estos, el tráfico que pasa por ellos dependerá de la tecnología y banda que se use, por consiguiente, se establece la siguiente hipótesis:

Un diseño previo al despliegue, puede mejorar los niveles de operación de una red, que considere las características de propagación de las señales inalámbricas.

10. Diseño Metodológico

10.1 Definición del conjunto de métricas necesarias para la validación de la calidad de un enlace de radio

- Potencia nominal TX
- Atenuación cable
- Ganancia de la Antena TX
- Perdida en la trayectoria en el espacio libre
- Sensibilidad RX
- Ganancia de la Antena RX
- Zona de fresnel
- Margen de desvanecimiento
- Client Connection Quality (CCQ)
- Presión atmosférica

10.2 Definición de los parámetros de comparación y simulación de enlace

Después de realizar la validación del conjunto de métricas, se procede a la construcción de un cuadro comparativo el cual arrojará como resultado la mejor alternativa para escoger la banda a usar en el despliegue.

- Enlace Cerro el Nudo Pereira - Cerro 1080 Marsella

a. Cuadro comparativo enlace

Energía efectiva emitida “Trasmisor (TX)” PIRE (Potencia Isotrópica Radiada Equivalente)				Sensibilidad efectiva de recepción “Receptor (RX)”			
Potencia nominal transmisor (dBm)	-	(Pérdida de Cable 20 MHz + Pérdida Conector) (dB)	+	Ganancia de la Antena (dB)	-	Pérdida de Cable 20 MHz (dB)	- Sensibilidad [dBm]
31		9,55		31		9,55	-93
				127,925421			
				121,0319065			

=

Margen de desvanecimiento (dBm)	Banda GHz
38,97457932	5
45,86809348	2.4

Datos			
Frecuencia 2.4 GHz	2412	Pérdidas en los conectores	0,25
Frecuencia 5 GHz	5334	Pérdida de cable 20 MHz	9,3
Distancia (Km)	11,2		

b. Enlace Simulado

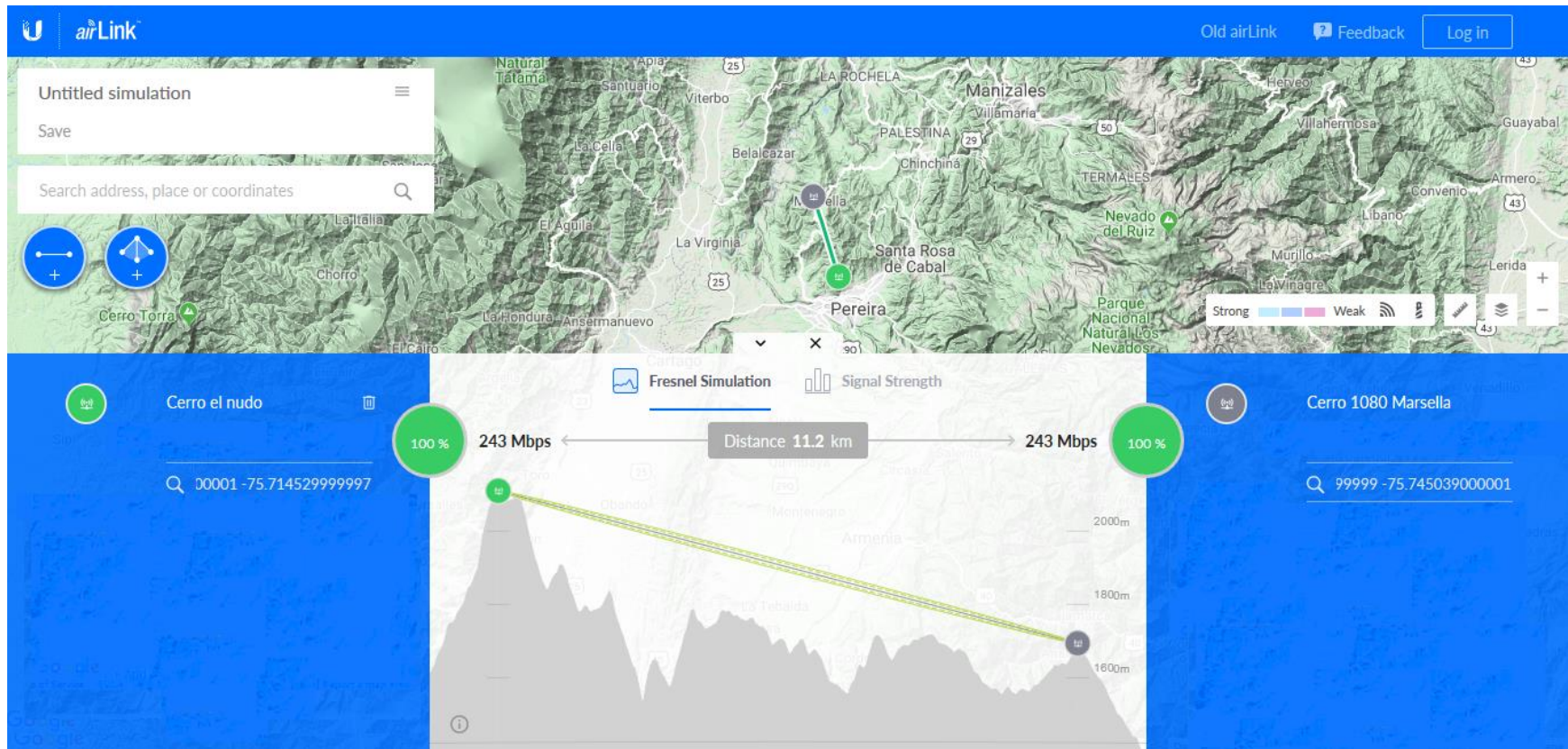


Ilustración 9

- Enlace Cerro el Nudo Pereira - Cerro Roble Quindío

a. Cuadro comparativo enlace

Trasmisor (TX)						Receptor (RX)						
Potencia nominal transmisor (dBm)	-	(Pérdida de Cable 20 MHz + Pérdida Conector) (dB)	+	Ganancia de la Antena (dB)	-	Perdida en la trayectoria en el espacio libre (dB)	+	Ganancia de la Antena (dB)	-	Perdida de Cable 20 MHz (dB)	-	Sensibilidad [dBm]
31		9,55		31		134,0654029		31		9,55		-93
						127,1718888						

==

Margen de desvanecimiento	Banda GHz
32,83459709	5
39,72811125	2.4

Datos			
Frecuencia 2.4 GHz	2412	Pérdidas en los conectores	0,25
Frecuencia 5 GHz	5334	Pérdida de cable 20 MHz	9,3
Distancia (Km)	22,71		

b. Enlace Simulado

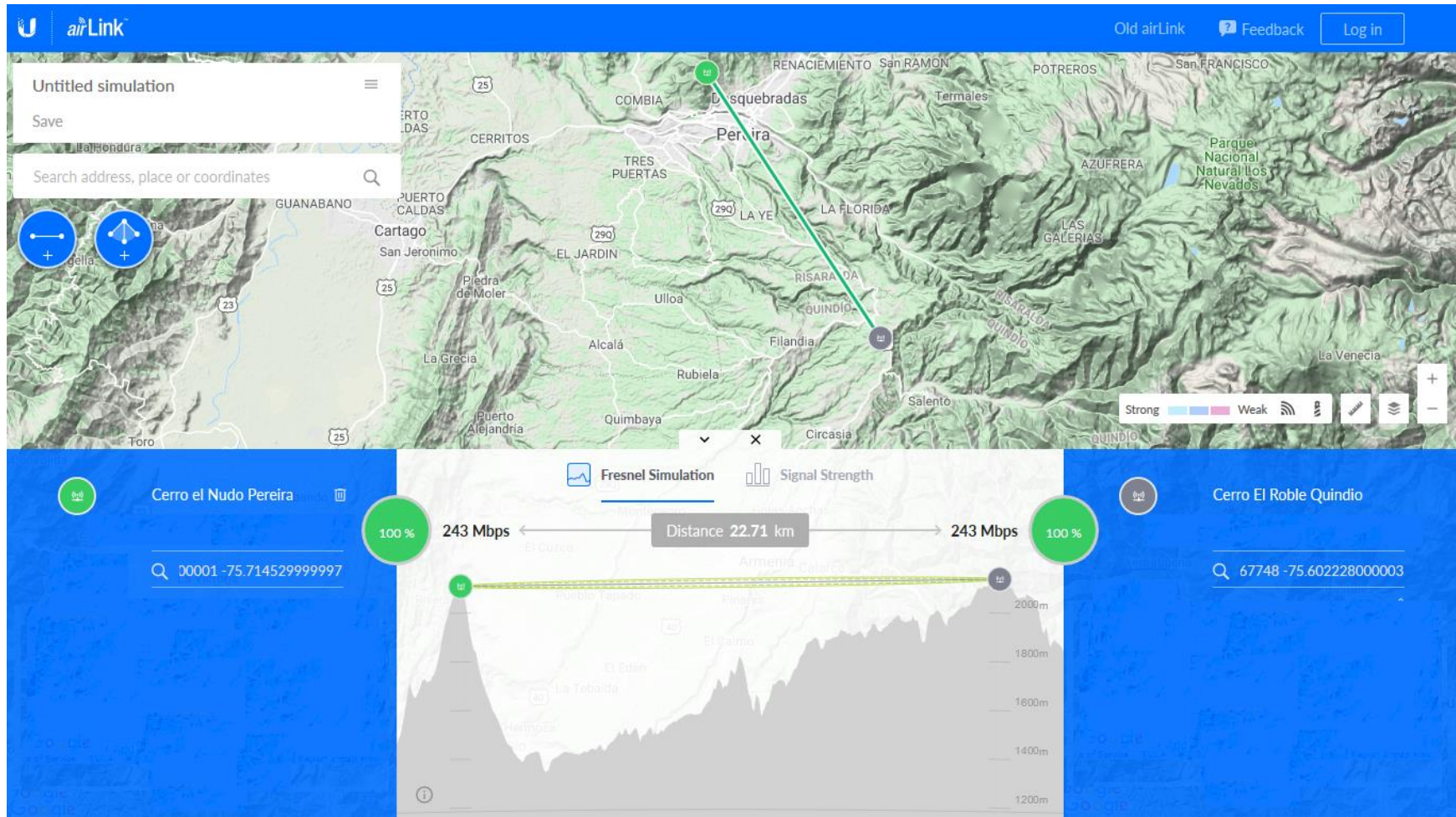


Ilustración 10

- Enlace Cerro el Nudo Pereira - Benalcázar

a. Cuadro comparativo enlace

Trasmisor (TX)						Receptor (RX)						
Potencia nominal transmisor (dBm)	-	(Pérdida de Cable 20 MHz + Pérdida Conector) (dB)	+	Ganancia de la Antena (dB)	-	Perdida en la trayectoria en el espacio libre (dB)	+	Ganancia de la Antena (dB)	-	Pérdida de Cable 20 MHz (dB)	-	Sensibilidad [dBm]
31		9,55		31		132,856799		31		9,55		-93
						125,963284						
						9						

==

Margen de desvanecimiento	Banda GHz
34,04320097	5
40,93671513	2.4

Datos			
Frecuencia 2.4 GHz	2412	Pérdidas en los conectores	0,25
Frecuencia 5 GHz	5334	Pérdida de cable 20 MHz	9,3
Distancia (Km)	19,76		

b. Enlace Simulado

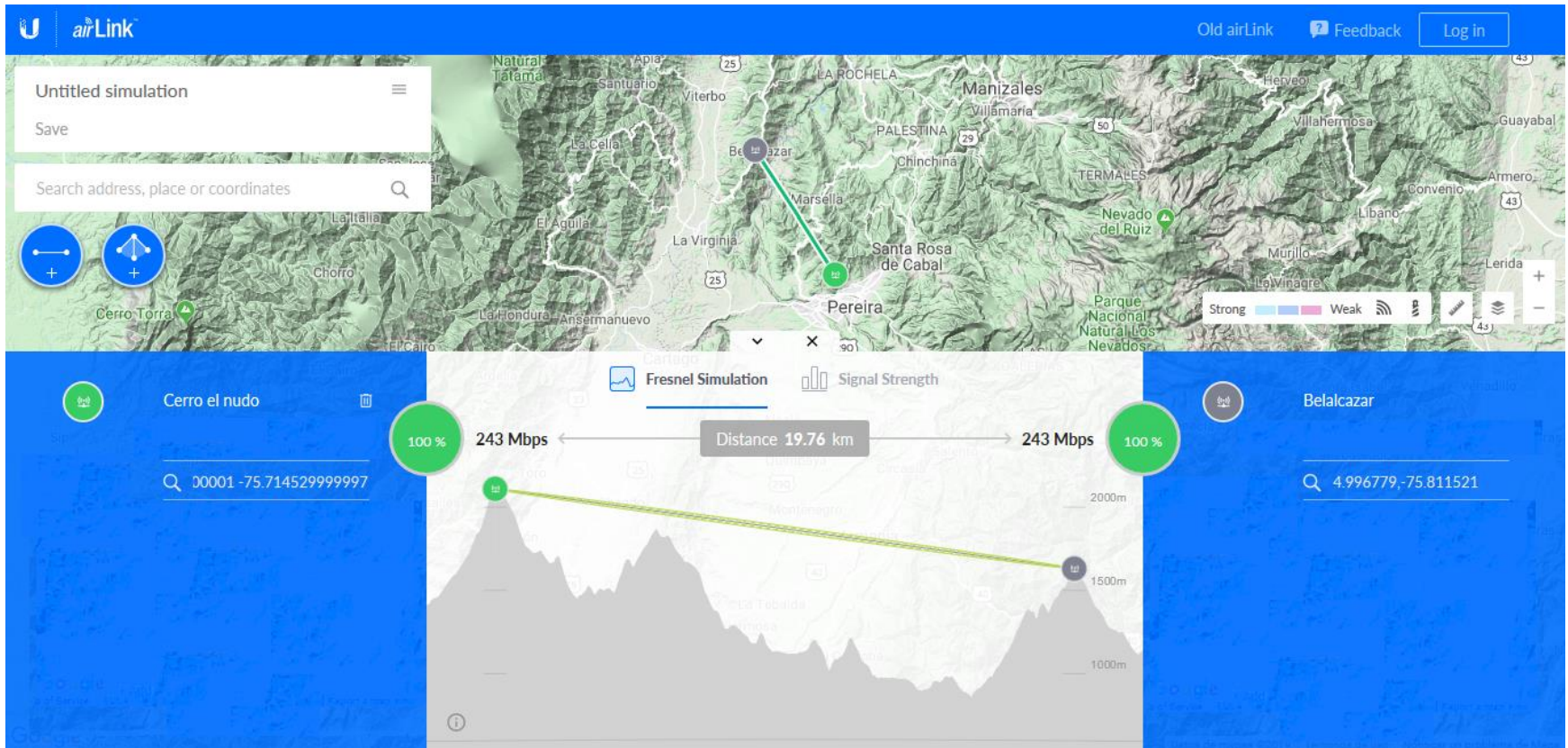


Ilustración 11

- Enlace Cerro el Nudo Pereira - Benalcázar

a. Cuadro comparativo enlace

Trasmisor (TX)						Receptor (RX)						
Potencia nominal transmisor (dBm)	-	(Pérdida de Cable 20 MHz + Pérdida Conector) (dB)	+	Ganancia de la Antena (dB)	-	Perdida en la trayectoria en el espacio libre (dB)	+	Ganancia de la Antena (dB)	-	Pérdida de Cable 20 MHz (dB)	-	Sensibilidad [dBm]
31		9,55		31		133,8642063		31		9,55		-93
						126,9706921						

==

Margen de desvanecimiento	Banda GHz
33,03579373	5
39,92930789	2.4

Datos			
Frecuencia 2.4 GHz	2412	Pérdidas en los conectores	0,25
Frecuencia 5 GHz	5334	Pérdida de cable 20 MHz	9,3
Distancia (Km)	19,76		

b. Enlace Simulado

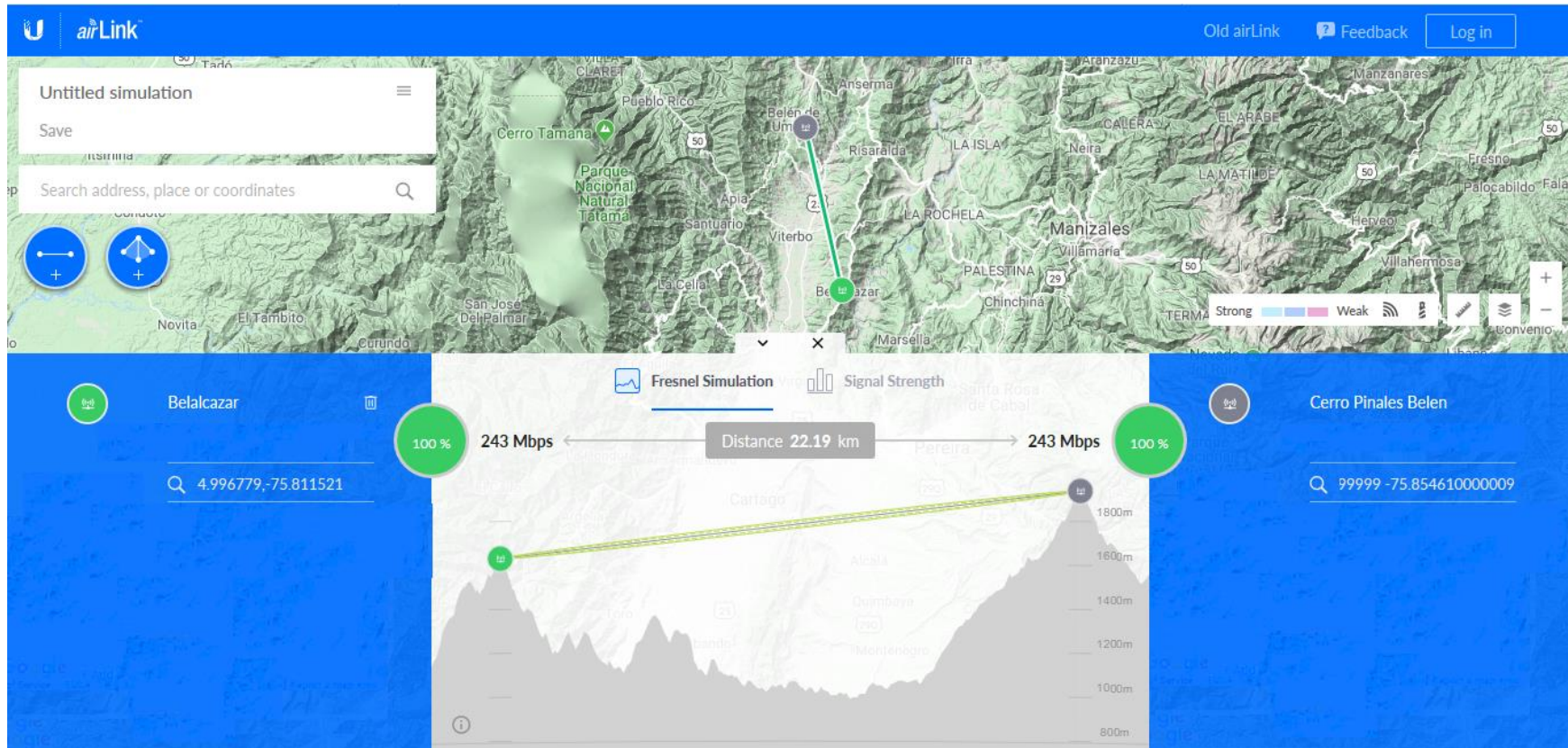


Ilustración 12

10.3 Propuesta un modelo de proceso de buenas prácticas para el diseño y despliegue de un radio enlace troncal.

Antes de realizar cualquier tipo de construcción física, se debe realizar previamente un análisis minucioso de las condiciones geográficas, igualmente factores directos e indirectos para así determinar los equipos a usar.

Por ello en los siguientes pasos describiré cual es el proceso de buenas prácticas para el diseño y despliegue de un enlace troncal inalámbrico.

1. Definir la zona de cobertura.

Para ello se realiza un estudio de mercado el cual proporcionara información de los lugares factibles económicamente para la realización de un despliegue de nodos troncales inalámbricos.

2. Definir la región de ubicación con el número de nodos posibles.

Al tener definida la zona de cobertura, se valida la geografía del terreno para así determinar las posibles posiciones de los nodos troncales teniendo en cuenta tres aspectos importantes e infaltables a considerar los cuales ayudaran adquirir la orientación y correcta altura del nodo troncal para así lograr un enlace de comunicación, garantizando la calidad de la señal que llega al receptor, estos son:

- Alcance
- Línea de vista
- Zona de Fresnel.

Cuando se tiene definido el lugar al cual se brindará cobertura y los lugares específicos de los nodos se procede a realizar el diseño de la red de la siguiente manera:

En la actualidad existen software como AirLink⁴⁸ de Ubiquiti, Wireless Link Calculator de Mikrotik⁴⁹ y Google Earth, que reducen tiempo en la construcción de un radio enlace, con evaluaciones matemáticas de buena exactitud y bajo porcentaje de error, capturando las obstrucciones que se presenten en la línea de vista entre estos dos puntos, utilizando los mapas digitales como Google maps o Bing maps, para la realización de modelos de elevación del terreno para el cálculo de la cobertura e intensidad de la señal emitida/recibida.

Para el uso de cualquiera de estos softwares se requiere el dato de posición geográfica exacta de los lugares donde estarán los nodos troncales, la cual está representada en latitud (norte o sur) y longitud (este u oeste).

Con esta información el software realiza una simulación de enlace donde se puede identificar el trayecto que debe realizar las ondas de radio de un nodo a otro.

En la construcción de un nodo troncal se requiere una estructura que posea unos tensores que van enterrados para así poder sostenerse, generando estabilidad y resistencia para soportar cualquier eventualidad que se presente en el ambiente, por ejemplo, fuertes vientos.

La construcción de un nodo se compone de las siguientes fases:

➤ Fase 1: Instalación de la Base

Es un tramo de la estructura y/o torre que posee una longitud de 3 metros, se entierra a 1.5 metros de profundidad, se da firmeza con una mezcla de cemento, gravilla, agua y piedra.

⁴⁸ UBIQUITI, FORUM AIRLINK, 2015, Recuperado de <https://forum-es.ubnt.com/discussion/1279765/nueva-version-de-airlink-para-calculo-de-enlaces>

⁴⁹ Mikrotk, Mikrotik Wirelelss Link Calculator, 2019, Recuperado de <https://mikrotik.com/calculator>

➤ Fase 2: Montaje de los Tramos Restantes

Cuando el cimiento está lo suficientemente firme, se procede a la instalación de los tramos que componen la torre, cada tres tramos se instala un templete compuesto por una guaya con diámetro de 1 centímetro.

➤ Fase 3: Instalación del Pararrayos

En el tramo final de la torre se instala un pararrayos, de manera que pueda recibir una descarga eléctrica generada por la atmosfera y direccionarla hacia la tierra.

➤ Fase 4: Instalación de equipos

Cuando se cuenta con la estructura totalmente construida, se procede a la instalación de los equipos emisores/receptores, de modo que permitan la creación del nuevo nodo de comunicación.

11. Conclusiones

- El Margen de desvanecimiento para los enlaces simulados fue superior en la banda 2,4 GHz que, en los 5 GHz, por consiguiente, la banda GHz es menos susceptible a perturbaciones.
- Las redes inalámbricas proporcionan una gran facilidad de movilidad y comunicación en áreas lejanas, por consiguiente, sería de interesante realizar pruebas varios nodos troncales donde se implemente de forma descriptiva los protocolos de comunicación IPv4 e IPv6, es especial este último debido a la evolución constante de las comunicaciones.
- El software de Simulación es una herramienta indispensable en el proceso de aprendizaje y desarrollo de redes inalámbricas, puesto que permite tener una vista previa sobre el terreno que se desee conectar, así mismo permite la estimación de valores a proyectos grandes, que requiere una gran inversión económica, evitando un desfase que genere sobrecostos.
- Es primordial para la simulación tener los datos exactos de la posición GPS, puesto que un cambio así sea de un dígito cambia radicalmente la posición, por consiguiente, el trazo de línea de vista.
- En el desarrollo de este trabajo, el proceso de interiorización fue muy significativo puesto que descubrir y aprender el funcionamiento de herramientas que proporcionen resultados de grandes magnitudes, generan curiosidad respecto a la implementación de las redes de las grandes empresas de comunicaciones a nivel nacional e internacional.
- Las comunicaciones están en constante evolución, con el objetivo de proporcionar la mejor experiencia de servicio a los usuarios, por ello las personas que tengan relación con el sector TIC deben estar a la vanguardia, para obtener el máximo beneficio de ello.

12. Glosario

ABSORCIÓN: La absorción es la disminución de la señal debido a que el aire no es un vacío, sino que está formado por átomos y moléculas de distintas sustancias gaseosas, líquidas y sólidas. Estos materiales pueden absorber a las ondas electromagnéticas causando pérdidas por absorción. Cuando la onda electromagnética se propaga a través de la atmósfera terrestre, se transfiere energía de la onda a los átomos y moléculas atmosféricos⁵⁰.

ACCESO: La puesta a disposición por parte de un proveedor a otro proveedor, de recursos físicos y/o lógicos de su red para la provisión de servicios. El acceso implica el uso de las redes⁵¹.

ANTENA: Es un elemento pasivo que no ofrece ninguna potencia adicional a la señal. Una antena simple redirige la energía que recibe de la emisora⁵².

CALIDAD DE SERVICIO (QOS): El efecto global de la calidad de funcionamiento de un servicio que determina el grado de satisfacción del servicio por parte de un usuario⁵³.

DATOS: Es una representación mediante símbolos numéricos, alfabéticos o de otra clase de la característica de un determinado atributo o variable cualitativa o cuantitativa, o sea: la descripción codificada de un hecho empírico, un suceso, una entidad⁵⁴.

DIFRACCIÓN: Es el fenómeno por el cual una onda que atraviesa un obstáculo se distorsiona y se propaga en todas direcciones detrás de dicho orificio⁵⁵.

⁵⁰ Luis Escobar, Adrián Escalona, Héctor Herazo, Frank Madera, PROPAGACIÓN DE ONDAS, Universidad de la Costa, CUC, Recuperado de <http://propagaciondeondascom1.blogspot.com/2012/11/atenuacion-y-absorcion-de-ondas.html>

⁵¹ Resolución CRC 3101 de 2011, artículo 3, numeral 3.1

⁵² WIFISAFE, 2018, Recuperado de <https://www.wifisafe.com/blog/antenas/>

⁵³ Resolución CRC 3067 de 2011, artículo 1.8, numeral 6

⁵⁴ DefinicionABC, 2019, Recuperado de <https://www.definicionabc.com/tecnologia/dato.php>

⁵⁵ FisicaLab, Difracción de Ondas, Recuperado de <https://www.fisicalab.com/apartado/difraccion-ondas#contenidos>

DISPERSIÓN: Es el fenómeno de separación de las ondas de distinta frecuencia al atravesar un material⁵⁶.

ELIPSOIDES: Es una superficie curva cerrada cuyas tres secciones ortogonales principales son elípticas, es decir, son originadas por planos que contienen dos ejes cartesianos⁵⁷.

EMISOR: Es un dispositivo que codifica un mensaje y lo transmite a través de un cierto canal hacia el receptor⁵⁸.

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO: Es el conjunto de todas las frecuencias de emisión de los cuerpos de la naturaleza. Comprende un amplio rango que va desde ondas cortas (rayos gamma, rayos X), ondas medias o intermedias (luz visible), hasta ondas largas (las radiocomunicaciones actuales)⁵⁹.

FRECUENCIA: Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico⁶⁰.

GPS: El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de radionavegación de los Estados Unidos de América, basado en el espacio, que proporciona servicios fiables de posicionamiento, navegación, y cronometría gratuita e ininterrumpidamente a usuarios civiles en todo el mundo. A todo el que cuente con un receptor del GPS, el sistema le proporcionará su localización y la hora exacta en cualesquiera condiciones atmosféricas, de día o de noche, en cualquier lugar del mundo y sin límite al número de usuarios simultáneos⁶¹.

⁵⁶ Wikipedia, 2018, Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Dispersi%C3%B3n_\(f%C3%ADsica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Dispersi%C3%B3n_(f%C3%ADsica))

⁵⁷ ECURED, Recuperado de <https://www.ecured.cu/Elipsoide>

⁵⁸ Julián Pérez Porto, Ana Gardey, Definicion.de, Recuperado de <https://definicion.de/emisor/>

⁵⁹ Resolución CRC 5050 de 2016, artículo 1, numeral 1.80

⁶⁰ Ecured, Frecuencia, Recuperado de <https://www.ecured.cu/Frecuencia>

⁶¹ Oficina de Coordinación Nacional de Posicionamiento, Navegación, y Cronometría por Satélite, GPS, Recuperado de <https://www.gps.gov/spanish.php>

INTERCONEXIÓN: Una interconexión es una comunicación efectuada entre dos o más puntos, con el objetivo de crear una unión entre ambos, sea temporal para efectuar una transmisión puntual o fija, on-line, comunicando permanentemente dos máquinas⁶².

INTERFERENCIA: Es la perturbación que ocurre en cualquier circuito, componente o sistema electrónico causada por una fuente de radiación electromagnética externa o interna⁶³.

IEEE: El IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) creado en Nueva York en 1884, es una asociación internacional sin ánimo de lucro con sede principal en la ciudad de Piscataway en los Estados Unidos y subsedes en más de 190 países del mundo, con alrededor de 370.000 miembros, entre profesionales y estudiantes de ingeniería, diseño, derecho, administración, medicina, biología, diseño y ciencias afines⁶⁴.

IEEE 802: El estándar 802 es una familia de tecnologías para redes de área local, que abordan la capa 1 y 2 del modelo OSI, que va desde 802.1 hasta 802.22 definido por la IEEE⁶⁵.

⁶² Leandro Alegsa, 2018, Recuperado de <http://www.alegsa.com.ar/Dic/interconexion.php>

⁶³ Wikipedia, Interferencia, 2018, Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Interferencia_electromagn%C3%A9tica

⁶⁴ IEEE Colombia, Recuperado de <https://www.ieee.org.co/acerca-de-ieee.php>

⁶⁵ IEEE, IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee, Recuperado de <http://www.ieee802.org/>

Familia 802	
Versión de Estándar IEEE	Aplicación
802.1	Normalización de interfaz
802.1d	Spanning Tree Protocol
802.1p	Asignación de Prioridades de tráfico
802.1q	Virtual Local Area Networks (VLAN)
802.1x	Autenticación en redes LAN
802.1aq	Shortest Path Bridging (SPB)
802.2	Control de enlace lógico (LLC)
IEEE 802.3	CSMA / CD (ETHERNET)
IEEE 802.3a	Ethernet delgada 10Base2
IEEE 802.3c	Especificaciones de Repetidor en Ethernet a 10 Mbps
IEEE 802.3i	Ethernet de par trenzado 10BaseT
IEEE 802.3j	Ethernet de fibra óptica 10BaseF
IEEE 802.3u	Fast Ethernet 100BaseT
IEEE 802.3z	Gigabit Ethernet parámetros para 1000 Mbps
IEEE 802.3ab	Gigabit Ethernet sobre 4 pares de cable UTP Cat5e o superior
IEEE 802.3ae	10 Gigabit Ethernet
IEEE 802.4	Token bus LAN
IEEE 802.5	Token ring LAN (topología en anillo)
IEEE 802.6	Redes de Área Metropolitana (MAN) (ciudad) (fibra óptica)
IEEE 802.7	Grupo Asesor en Banda ancha
IEEE 802.8	Grupo Asesor en Fibras Ópticas
IEEE 802.9	Servicios Integrados de red de Área Local (redes con voz y datos integrados)
IEEE 802.10	Seguridad de red
IEEE 802.11	Redes inalámbricas WLAN. (Wi-Fi)
IEEE 802.12	Acceso de Prioridad por demanda 100 Base VG-Any Lan
IEEE 802.13	Se ha evitado su uso por superstición2
IEEE 802.14	Módems de cable
IEEE 802.15	WPAN (Bluetooth)
IEEE 802.16	Redes de acceso metropolitanas sin hilos de banda ancha (WIMAX)
IEEE 802.17	Anillo de paquete elástico script

IEEE 802.18	Grupo de Asesoría Técnica sobre Normativas de Radio
IEEE 802.19	Grupo de Asesoría Técnica sobre Coexistencia
IEEE 802.20	Mobile Broadband Wireless Access
IEEE 802.21	Media Independent Handoff
IEEE 802.22	Wireless Regional Area Network

Tabla 5

INTERFERENCIA: Es la acción de bloquear, esconder, impedir, interrumpir, la confidencialidad, la integridad de programas computacionales, sistemas computacionales, datos, información, mediante la transmisión, daño, borrado, destrucción, alteración o supresión de datos, de programas de computación o tráfico de datos⁶⁶.

INTERRUPCIÓN: Es el evento causado por un programa computacional, una red de telecomunicaciones o sistema computacional que es operado con el objeto de interferir o destruir un programa computacional, una red de telecomunicaciones, datos e información que esta contenga⁶⁷.

MODELO OSI: La mayoría de los conjuntos de protocolos de red se estructuran en capas. La Organización Internacional para la Estandarización (ISO) ha diseñado el modelo de referencia de Interconexión de Sistemas Abiertos (OSI) que utiliza capas estructuradas. El modelo OSI describe una estructura con siete capas para las actividades de red. Cada capa tiene asociados uno o más protocolos. Las capas representan las operaciones de transferencia de datos comunes a todos los tipos de transferencias de datos entre las redes de cooperación⁶⁸.

NODO DE INTERCONEXIÓN: Es el elemento, o conjunto de elementos, de red que permite recibir, conmutar, enrutar y enviar comunicaciones entre diferentes redes⁶⁹.

⁶⁶ Resolución CRC 3067 de 2011, artículo 1.8, numeral 21

⁶⁷ Resolución CRC 3067 de 2011, artículo 1.8, numeral 22

⁶⁸ Oracle Corporation, 2010, Recuperado de <https://docs.oracle.com/cd/E19957-01/820-2981/ipov-7/index.html>

⁶⁹ Resolución CRC 3101 de 2011, artículo 3, numeral 3.13

ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS: El término onda electromagnética se utiliza para describir la forma en la que desplaza la radiación electromagnética a través del espacio. La radiación electromagnética se caracteriza por tener dos campos, uno eléctrico y otro magnético, y se desplaza en forma de onda con los dos campos perpendiculares y oscilantes, oscilación responsable de que la radiación describa una onda al propagarse⁷⁰.

ONDA LONGITUDINAL: Es aquella onda que viaja en el mismo sentido de propagación de la propagación de onda⁷¹.

ONDA TRANSVERSAL: Es aquella onda que tiene la oscilación perpendicular a la dirección de propagación de la onda⁷².

OSCILACIÓN: Es movimiento repetido de un lado a otro en torno a una posición central, o posición de equilibrio. El recorrido que consiste en ir desde una posición extrema a la otra y volver a la primera, pasando dos veces por la posición central, se denomina ciclo. El número de ciclos por segundo, o hercios (Hz), se conoce como frecuencia de la oscilación⁷³.

PARÁMETROS: Es una variable, el establecimiento de un condicional que puede alterar tanto el comportamiento como la estadística de un término predeterminado, modificando el valor que pueda llegar adquirir o las distintas condiciones que rodean al mismo⁷⁴.

PATCH CORD: Es un cable de Conexión se le llama al cable (UTP, F.O., etc) que se usa en una red para conectar un dispositivo electrónico con otro⁷⁵.

PROPAGACIÓN DE ONDA: Es la forma en que viaja la onda ya sea en modo longitudinal o modo transversal lo cual depende de la dirección de oscilación relativa.

⁷⁰ Curiosoando, Recuperado de <https://curiosoando.com/que-es-una-onda-electromagnetica>

⁷¹ Eric W. Weisstein, WOLFRAM RESEARCH, Recuperado de <http://scienceworld.wolfram.com/physics/P-Wave.html>

⁷² Jaime Caballero, Lifeder.com, Recuperado de <https://www.lifeder.com/onda-transversal/>

⁷³ McGraw-Hill, Libro Waves (Berkeley Physics Course, Vol. 3), McGraw-Hill, Frank S. Crawford, Jr, Waves, 1968

⁷⁴ Sistemas master magazine, Definición de Parámetro, Recuperado de <https://sistemas.com/parametro.php>

⁷⁵ Ecured, Patch_Cord, https://www.ecured.cu/Patch_Cord

PROVEEDOR DE RED: Son las empresas y organizaciones que proporcionan a los usuarios el acceso a Internet y servicios relacionados. Estos proveedores conectan los clientes a los clientes de otros proveedores de servicio por medio de redes. A menudo, los Proveedores de servicios de Internet (también llamados Proveedores de acceso a Internet) son empresas que proporcionan servicios de telecomunicaciones, incluyendo el acceso a las comunicaciones de datos y la conexión telefónica. La mayoría de las empresas telefónicas ahora funcionan como Proveedores de acceso a Internet también. Los ISP pueden ser comerciales, sin fines de lucro, de propiedad privada o propiedad de la comunidad⁷⁶.

RADIO ENLACE: Se denomina radio enlace a cualquier interconexión entre los terminales de telecomunicaciones efectuados por ondas electromagnéticas. Además, si los terminales son fijos, el servicio se lo denomina como tal y si algún terminal es móvil, se lo denomina dentro de los servicios de esas características. Se puede definir al radio enlace del servicio fijo, como sistemas de comunicaciones entre puntos fijos situados sobre la superficie terrestre, que proporcionan una capacidad de información, con características de calidad y disponibilidad determinadas. Típicamente estos enlaces se explotan entre los 800 MHz y 42 GHz⁷⁷.

REFLEXIÓN: Es la incidencia sobre una superficie reflectante, ésta se comporta como un espejo, es decir, la onda es reflejada formando un ángulo con la perpendicular a la superficie igual al ángulo incidente⁷⁸.

REDES TRONCALES: Son los medios de transmisión que permiten el intercambio de comunicaciones (voz y/o datos) entre centrales o plataformas, por medio de este punto, pasa grandes cantidades de información y permite el acceso a otros nodos⁷⁹.

⁷⁶ XFINITY Discovery Hub, Recuperado de <https://es.xfinity.com/hub/internet/internet-service-providers>

⁷⁷ Radio Comunicaciones, Radio Comunicaciones, Pedro Ruesca, Recuperado de <http://www.radiocomunicaciones.net/radio/radio-enlace-que-es-un-radioenlace/>

⁷⁸ Juan Ignacio Arribas, Ph.D., Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones, 2015, https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos_02_03/RADIOASTRONOMIA/web/Indice/Radio/I_radio/5_3_1/Refle_C.htm

⁷⁹ Resolución CRC 3067 de 2011, artículo 1.8, numeral 26

SEÑAL RUIDO: Es la relación de la comunicación generada en un entorno ruidoso debido a que hay varios agentes comunicándose al tiempo, para poder hacer efectiva la comunicación el emisor debe aumentar la energía al momento de enviar el mensaje⁸⁰.

TOPOGRAFÍA: Es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la Tierra, con sus formas y detalles, tanto naturales como artificiales⁸¹.

TRANSMISIÓN INALÁMBRICA: Es comunicación inalámbrica o sin cables es aquella en la que la comunicación (emisor/receptor) no se encuentra unida por un medio de propagación físico, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio.¹ En este sentido, los dispositivos físicos sólo están presentes en los emisores y receptores de la señal, entre los cuales encontramos: antenas, computadoras portátiles, PDA, teléfonos móviles⁸².

TRONCALES INALÁMBRICOS: Es un punto esencial en una red de comunicación, ya sea alámbrico o inalámbrico

TIC: Tecnologías de la Información y las Comunicaciones definidas conforme al artículo 6° de la Ley 1341 de 2009⁸³.

WIRELESS NETWORK O WLAN: Una expresión que puede traducirse como Red de Área Local Inalámbrica. Como la denominación lo señala, una WLAN es una red de tipo local cuyos equipos no necesitan estar vinculados a través de cables para conectarse.
Es una red informática formada por unidades ubicadas en un espacio geográfico de dimensiones reducidas⁸⁴.

⁸⁰ Roger Freema, Radio System Design for Telecommunications, 2006, Scottsdale arizona, Editorial Wiley

⁸¹ Topoequipos s.a.s, ¿Que es Topografía ?, <http://www.topoequipos.com/dem/qu-es/terminologa/que-es-topografa>

⁸² Preston Gray, 2007, Libro "Cómo funcionan las redes inalámbricas", Editorial Anaya Multimedia

⁸³ Resolución CRC 3066 de 2011, artículo 9

⁸⁴ Julián Pérez Porto y María Merino, Definicion, Recuperado de <https://definicion.de/wlan/>

ZONA GEOGRÁFICA: Una región geográfica forma parte del conjunto de las regiones naturales: se trata de zonas territoriales que se delimitan a partir de determinadas características de la naturaleza. La geografía física es lo que permite el reconocimiento de una región geográfica⁸⁵.

⁸⁵ Lifeder.com, Región geográfica: ejemplos y tipos, Catherine Martinez, Recuperado de <https://www.lifeder.com/region-geografica/>

13. **Bibliografía**

- a. David Bagby (1992), Nueva York, EEUU. An Introduction to IEEE 802.11 Concepts & Definition, 1-10
- b. Government, Official U.S. (2018). Recuperado de <https://www.gps.gov>.
- c. Wikipedia, Cordillera central (2018). Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Cordillera_Central_\(Colombia\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Cordillera_Central_(Colombia)).
- d. Ángel González Ureña (2009). Descubrimiento de las ondas de Radio: la confirmación de la Teoría Electromagnética. Investigación Y Ciencia. Recuperado de <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/fisica-y-quimica/10/posts/descubrimiento-de-las-ondas-de-radio-la-confirmacin-de-la-teora-electromagntica-10186>.
- e. Mikrotik, Riga, Letonia, (2018). Recuperado de <https://mikrotik.com/products/group/wireless-systems>
- f. Ubiquiti, San José, Estados Unidos (2018) Recuperado de <https://www.ui.com/products/#airmax>
- g. TP-LINK, Shenzhen, China (2018) Recuperado de <https://www.tp-link.com>
- h. Motorola, Schaumburg, Illinois, Estados Unidos (2018) Recuperado de <https://www.motorola.com/us/home>
- i. Roger Freeman. (2006). Radio System Design for Telecommunications, John Wiley & Sons Inc; Edición: 2nd Revised edition. Scottsdale Arizona: Wiley.
- j. Radioenlaces Tecnologías inalámbricas y Diseño de Radioenlaces. (2011) Francisco Ramos. Recuperado de <http://www.radioenlaces.es/articulos/perdidas-en-obstaculos/>

- k. Gabriela Leija Hernández, José Luis López Bonilla, Luis Alejandro Iturri Hinojosa. León, Guanajuato, México (2014). Metodología para el cálculo adecuado de las alturas de antenas en un radioenlace de microondas en Línea de Vista. 1-12. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/2033/203330981001.pdf>
- l. Siddharth Unni, Dhanesh Raj, Kalyan Sasidhar, Sethuraman Rao. (2015). Performance Measurement and Analysis of Long Range Wi-Fi Network for Over-the-Sea Communication.
- m. Alejandro Ramirez. (2011). Levantamiento Topografico / Topographic Survey, Festival Internacional de la imagen. Manizales. Recuperado de <https://levantamientotopografico.wordpress.com/tag/eje-cafetero/>.
- n. Jaime Gustavo Huilca, Quito, Ecuador (2016). Propagacion en el espacio libre. 1-12. Universidad Politecnica Saleniana Ecuador.
- o. LigoWave, EE.UU. (2018). Free Graphical Link Calculator. Recuperado de <https://www.ligowave.com/wiki/es/linkcalc/>.
- p. Ortega Tamarit Beatriz. (2013). UPV, Universitat Politècnica de Valencia, Valencia, España. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=0RYwF_X6pew.
- q. IEEE Colombia. (2019), Recuperado de <https://www.ieee.org.co/acerca-de-ieee.php>.
- r. IEEE H. Zimmermann IRIA/Laboria, Rocquencourt, France, (April 1980); <https://ieeexplore.ieee.org/document/1094702>.
- s. H Sizun, P de Fornel. (2005). Radio wave propagation for telecommunication applications, Berlin alemania, Springer.
- t. Wifi Aliance, Wifi Certifies 6, (2019) <https://www.wi-fi.org/discover-wi-fi/wi-fi-certified-6>

- u. Xataka, Javier Penalva, marzo 11 de 2019,
<https://www.xataka.com/especiales/que-wifi-6-que-va-a-mejorar-tu-red-wifi-casa-cuando-te-conectes-a-publica>